

Mikrostruktur-Reaktor

Publication number: DE29923630U

Publication date: 2001-01-18

Inventor:

Applicant: ATECS MANESMANN AG (DE)

Classification:

- International: **B01J19/00; B01J35/02; B01J37/02; C01B3/38;
B01J19/00; B01J35/00; B01J37/00; C01B3/00;** (IPC1-
7): B01J8/00; B01J19/00; B81B1/00

- European: B01J19/00R; B01J35/02; B01J37/02C; C01B3/38

Application number: DE19992023630U 19990825

Priority number(s): DE19992023630U 19990825; DE19981041993
19980904; WO1999DE02701 19990825

Also published as:



WO0013783 (A3)

WO0013783 (A2)

EP1117479 (A3)

EP1117479 (A2)

EP1117479 (A0)

[more >>](#)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for DE29923630U

Abstract of corresponding document: **DE19841993**

The invention relates to a microstructure reactor which can be electrically heated by resistive heating and which is provided for carrying out endothermic chemical reactions in the presence of a catalyst (1) applied to the inner surface of the reaction channels (2). The reaction chamber of the reactor is comprised of a multitude of reaction channels (2) which are incorporated into a silicon substrate (3), and which have cross-sectional dimensions in the area of submillimeters. In particular, the invention relates to the construction of the electrically conductive catalyst.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

(12) **Gebrauchsmusterschrift**
(10) DE 299 23 630 U 1

(51) Int. Cl.⁷:
B 01 J 8/00
B 01 J 19/00
B 81 B 1/00

(21) Aktenzeichen: 299 23 630.7
(67) Anmeldetag: 25. 8. 1999
aus Patentanmeldung:
(47) Eintragungstag: 18. 1. 2001
(43) Bekanntmachung im Patentblatt: 22. 2. 2001

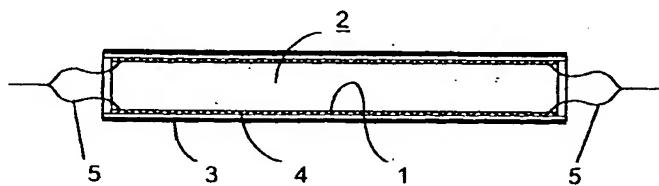
(66) Innere Priorität:
198 41 993.7 04. 09. 1998

(73) Inhaber:
ATECS Mannesmann AG, 40213 Düsseldorf, DE

(74) Vertreter:
P. Meissner und Kollegen, 14199 Berlin

(54) Mikrostruktur-Reaktor

(57) Durch Widerstandserwärmung elektrisch beheizbarer Mikrostruktur-Reaktor zur Durchführung endothermer chemischer Reaktionen unter Anwesenheit eines auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle (2) aufgebrachten Katalysators (1), wobei der Reaktionsraum des Reaktors aus einer Vielzahl von Reaktionskanälen (2) besteht, die in ein Siliziumsubstrat (3) eingearbeitet sind und Querschnittsabmessungen im Submillimeterbereich aufweisen, dadurch gekennzeichnet, daß der elektrisch leitende Katalysator (1) in gleichmäßiger Schichtdicke aufgebracht ist und unmittelbar selbst durch die Widerstandserwärmung beheizbar ist.



DE 299 23 630 U 1

DE 299 23 630 U 1

Mikrostruktur-Reaktor

5

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Mikrostruktur-Reaktor zur Durchführung endothermer
10 chemischer Reaktionen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Reaktoren für endotherme Prozesse in der chemischen Industrie haben in der Regel
relativ große Abmessungen und demzufolge eine große Masse, die zur Durchführung
der gewünschten Reaktion in aufwendiger Weise aufgeheizt werden muß. Das hat zur
15 Folge, daß solche Reaktoren in dynamischer Hinsicht sehr träge sind und
Temperaturveränderungen nur sehr langsam folgen können. Hinzu kommt der
Nachteil, daß das An- und Auffahren solcher Reaktoren viel Zeit in Anspruch nimmt.

Ein weiteres Problem herkömmlicher Reaktoren, bei denen Wärme für eine
20 endotherme Reaktion zur Verfügung gestellt werden muß, ist in dem schlechten
Wärmeübergang von einem Heizmedium durch die Reaktorwand in das
Prozeßmedium hinein zu sehen. Wenn die Wärme von außen in den Reaktionsprozeß
hineingeführt werden muß, ist stets mit Wärmeverlusten entsprechend der Qualität des
25 Wärmeübergangs zu rechnen. Eine Abhilfe kann in manchen Fällen dadurch
geschaffen werden, daß die Wärme für die endotherme Reaktion direkt im Reaktor
durch eine kontrolliert ablaufende exotherme Reaktion bereitgestellt wird. Dies kann
durch eine gezielte Teilverbrennung des Prozeßmediums erreicht werden. In einem
solchen Fall kann auf einen Wärmeübergang durch die Reaktorwand verzichtet
30 werden. Die Anlage ist insoweit entsprechend dynamischer zu betreiben. Allerdings ist
dies mit dem Nachteil zu erkauften, daß die Abgase der Verbrennung sich mit den in
der endothermen Reaktion gebildeten chemischen Produkten vermischen. Dadurch
werden aufwendige Trenn- und Reinigungsprozesse notwendig. Zu beachten ist auch,
daß die in dem Reaktor ablaufende endotherme Reaktion durch eine Verbrennung
beeinträchtigt werden kann.

Zur Lösung dieser Probleme sind Vorschläge bekanntgeworden, deren wesentliches Ziel es ist, die Masse eines Reaktors drastisch zu reduzieren und dadurch dessen Dynamik erheblich zu verbessern. Solche Lösungsansätze sind in der Entwicklung sogenannter Mikroreaktoren oder Mikrostruktur-Reaktoren zu sehen. Aus der 5 Veröffentlichung "Entwicklung von Mikrostruktur-Apparaten für Anwendungen in der chemischen und thermischen Verfahrenstechnik" (Wissenschaftliche Berichte FZKA 6080, Forschungszentrum Karlsruhe, 1998) sind Mikrostruktur-Reaktoren bekannt, die aus metallischen Werkstoffen wie Kupfer, Aluminium, Silber oder Edelstahl hergestellt werden. Derartige Apparate, die beispielsweise als Wärmeübertrager in 10 Kreuzstrombauweise ausgeführt sind, weisen eine Vielzahl von Durchtrittskanälen für die Prozeßmedien auf, deren Querschnittsabmessungen im Submillimeterbereich liegen (z.B. 70 x 100 µm). Bei einem würfelförmigen Volumen von lediglich 3 cm Kantenlänge ist mit dem Prozeßmedium Wasser im reinen Wärmetauscherbetrieb bei 15 einem Durchsatz von 7000 kg/h bereits eine Wärmeübertragungsleistung im Bereich von 200 kW erreicht worden. In dieser Veröffentlichung wird auch darüber berichtet, daß diese Apparate grundsätzlich auch für die Durchführung chemischer Reaktionen geeignet sind.

Aus Forschungstätigkeiten (z.B. an der Universität Stuttgart) ist der Bau von 20 Mikrostruktur-Reaktoren bekannt, bei denen anstelle metallischer Werkstoffe Silizium eingesetzt wird. Ähnlich wie bei der Herstellung elektronischer Bauelemente aus Silizium lassen sich durch Ätzen relativ problemlos auch sehr kleine Kanäle erzeugen, die für die Durchleitung eines Prozeßmediums im Sinne eines Reaktionsraums genutzt werden können. In dieser Schrift wird von einer entsprechenden Mikro-Reaktorkammer berichtet, die eine Querschnittsfläche von 500 x 500 µm und eine Länge von ca. 20 25 mm aufweist. Um einen solchen Reaktor für eine endotherme katalytische Reaktion einsetzen zu können, ist vorgesehen, den Reaktionskanal jeweils mit einem Edelmetalldraht von 100 µm Dicke zu versehen, der sich koaxial durch den Reaktionskanal erstreckt und als Katalysator wirkt. Die für die endotherme Reaktion erforderliche Wärme wird nicht durch ein Wärmetauschermedium in den Mikrostruktur-Reaktor eingetragen, sondern wird durch eine elektrische Widerstandswärzung von 30 dem eingelegten Edelmetalldraht abgegeben. Nachteilig bei dieser Lösung ist es, daß der katalytisch wirksame dünne Edelmetalldraht nur eine relativ kleine Oberfläche bietet. Außerdem kann sich die im optimalen Fall koaxiale Lage des Edelmetalldrähts 35 im Reaktionskanal durch starke thermische Dehnung stark verändern, so daß

Nachteile für den Ablauf der angestrebten chemischen Reaktion die Folge sein können.

Aus der US 5,534,328 ist ein gattungsgemäßer Mikrostruktur-Reaktor bekannt, dessen
5 Reaktionsraum aus einer Vielzahl von Reaktionskanälen besteht, die beispielsweise in
ein Siliziumsubstrat eingearbeitet sind und Querschnittsabmessungen im
Submillimeterbereich aufweisen. Die Innenoberflächen der Reaktionskanäle können
mit einem Katalysator beschichtet sein. Der Reaktor besteht aus einer Vielzahl
miteinander verbundener Schichten des Siliziumsubstrats, von denen die meisten von
10 Strömungskanälen für das Prozeßmedium bzw. das im Reaktor erzeugte Produkt
durchzogen sind. Zur Beheizung einer im Reaktor durchzuführenden endothermen
Reaktion ist eine elektrische Widerstandsheizung vorgesehen, die in Form eines
mäanderförmig verlegten elektrischen Leiters ausgebildet ist, der in entsprechende
Vertiefungen im Oberflächenbereich zweier unmittelbar aufeinander liegender
15 Schichten eingelegt ist. Dies ist einerseits für die Dynamik des Reaktors nachteilig, da
die erzeugte Wärme zunächst durch die entsprechende Schicht des Siliziumsubstrats
hindurchfließen muß, bevor sie an das Prozeßmedium gelangt. Andererseits bedarf es
eines zusätzlichen Aufwandes zur Herstellung der Vertiefungen für die Verlegung des
elektrischen Leiters, wodurch die Herstellkosten für den Reaktor erhöht werden.
20 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen elektrisch beheizbaren Mikrostruktur-
Reaktor dahingehend zu verbessern, daß in den Reaktionskanälen eine möglichst
große Katalysatorfläche zur Verfügung steht und negative Einflüsse durch eine
Verlagerung des Katalysatormaterials relativ zur Längsachse der Reaktionskanäle
25 vermieden werden. Der erforderliche bauliche Aufwand für die elektrische
Widerstandsheizung soll möglichst klein gehalten und eine besonders hohe Dynamik
des Reaktors sichergestellt werden.
30 Gelöst wird diese Aufgabe bei einem gattungsgemäßen Mikrostruktur-Reaktor nach
einem ersten Aspekt der Erfindung dadurch, daß der Katalysator nicht in Form eines
metallischen Drahtes in den Reaktionskanälen angeordnet wird, sondern in
gleichmäßiger Schichtdicke auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle aufgebracht
wird und direkt durch Widerstandserwärmung beheizbar ist. Die elektrische Beheizung

des aus Silizium gebildeten Mikrostruktur-Reaktors wird also im Prinzip beibehalten, so daß für die Durchführung der endothermen Reaktion kein Wärmeaustausch durch die Reaktorwand erfolgen muß. Da es keinen zentralen Katalysatordraht in den Reaktionskanälen gibt, existiert auch das damit verbundene Problem einer Verlagerung aus dem Zentrum des Reaktionskanals infolge thermischer Dehnung nicht mehr. Gleichzeitig ist dies mit dem großen Vorteil verbunden, daß die wirksame Oberfläche des Katalysators um ein Vielfaches größer ist als bei der bekannten Lösung mit dem Katalysatordraht, da erfindungsgemäß die gesamte Innenoberfläche des Reaktionskanals jeweils mit dem Katalysator beschichtet ist. Gegenüber dem Reaktor gemäß US 5 534 328 ist weder ein Aufwand für die Einarbeitung von Vertiefungen für die elektrische Widerstandsheizung erforderlich, noch muß die erzeugte Wärme zunächst noch durch die Wandung des Siliziumsubstrats fließen, um zum Prozeßmedium zu gelangen. Dadurch ergibt sich ein Reaktor mit besonders hoher Dynamik.

Wesentlich für die Wirksamkeit und Zuverlässigkeit des erfindungsgemäßen Reaktors ist es, daß der Katalysator in einer gleichmäßigen Schichtdicke aufgebracht ist. Eine ungleichmäßige Schichtdicke ruft wegen der örtlich dadurch hervorgerufenen Unterschiede im elektrischen Widerstand entsprechend unterschiedliche Oberflächentemperaturen im Katalysator hervor. Eine zu dicke Beschichtung führt zu einer entsprechend niedrigeren Temperatur, während eine zu dünne Beschichtung zu hohe Temperatur hervorrufen kann, die u.U. sogar zu einer unzulässigen Versinterung des Katalysators führt. Fehlt an einer Stelle die Katalysatorbeschichtung völlig, so fehlt auch dort die elektrische Beheizung. Gleichzeitig wird sich jedoch im beschichteten Teil an der in Umfangsrichtung gleichen Stelle über die Kanallänge betrachtet eine entsprechend höhere Temperatur einstellen.

Nach einem zweiten Aspekt der Erfindung ist für einen gattungsgemäßen Reaktor vorgesehen, den elektrisch leitenden Katalysator auf einem unmittelbar auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle anhaftenden, ebenfalls elektrisch leitenden Trägermaterial aufzubringen, wobei der Katalysator und das Trägermaterial in der Summe eine gleichmäßige Schichtdicke auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle aufweisen und die Gesamtschicht aus Katalysator und Trägermaterial unmittelbar selbst durch Widerstandserwärmung beheizbar ist. Dadurch ergeben sich die gleichen Effekte, wie sie bereits vorstehend zum ersten Aspekt der Erfindung beschrieben sind.

Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung wird eine weitere Lösungsvariante bereitgestellt, die für elektrisch nichtleitende Katalysatomaterialien in Frage kommt. Wie bereits gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ist auch hierbei vorgesehen, daß der Katalysator auf einem elektrisch leitfähigen Material aufgebracht ist, das als Zwischenschicht unmittelbar auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle haftet. Diese Zwischenschicht ist durch Widerstandserwärmung unmittelbar beheizbar. Zur Vermeidung von Temperaturunterschieden muß die Dicke der Zwischenschicht gleichmäßig sein. Da die Katalysatorschicht, die sehr dünn ist, unmittelbar auf dem elektrischen Leiter für die Widerstandserwärmung haftet, erfolgt die Erwärmung des Katalysators in Abhängigkeit vom elektrischen Strom ähnlich schnell wie bei den beiden anderen Lösungsvarianten der Erfindung. Die Wärme muß also nicht durch die Wand des Siliziumsubstrats hindurchströmen, sondern kann somit praktisch direkt auf das jeweilige Prozeßmedium übergehen.

15 Vorteilhafte Weiterbildungen der Varianten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen.

Zweckmäßigerweise wird der Katalysator auf einem Trägermaterial aufgebracht, das als Zwischenschicht unmittelbar auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle haftet. Eine solche Zwischenschicht besteht vorzugsweise aus Al_2O_3 oder SiO_2 oder Mischungen dieser beiden Verbindungen, die vielfach als Katalysatorträger in chemischen Apparaten eingesetzt werden und elektrische Isolatoren darstellen.

20 Es ist aber auch möglich und im Hinblick auf die Durchleitung des elektrischen Heizstroms vielfach vorteilhaft, gemäß dem zweiten und dritten Aspekt der Erfindung ein elektrisch leitendes Trägermaterial zu verwenden. Damit eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung erreicht wird, kommt es darauf an, dieses Trägermaterial ähnlich wie das Material des Katalysators in einer gleichmäßigen Schichtdicke aufzubringen. Im Hinblick auf die Widerstandserwärmung ist klar, daß Schwankungen in der Schichtdicke eines elektrischen leitenden Katalysators durch entsprechend umgekehrte Schwankungen der Schichtdicke des Trägermaterials praktisch ausgeglichen werden können. Insofern kommt es in erster Linie darauf an, daß die Summe der beiden Schichtdicken an einer beliebigen Stelle jeweils möglichst genau so groß ist, wie an den anderen Stellen. Dabei sollte aber gewährleistet sein,

daß sich die Schicht des Katalysators möglichst lückenlos über die gesamte Innenoberfläche der Reaktionskanäle erstreckt, um eine optimale Wirkung zu entfalten.

5 Zur Einleitung des elektrischen Stroms für die Beheizung des Reaktors sind elektrische Kontakte vorgesehen, die mit der Schicht des Katalysators und/oder mit einer elektrisch leitenden Zwischenschicht verbunden sind. Um den Durchschnittsquerschnitt der Reaktionskanäle, deren Querschnittsabmessungen im Submillimeterbereich liegen, möglichst nicht zu beeinträchtigen, empfiehlt es sich, die Schicht des Katalysators und/oder die Schicht des elektrisch leitenden Trägermaterials aus den 10 Reaktionskanälen heraus nach außen fortzuführen und die elektrischen Kontakte außerhalb des eigentlichen Reaktionskanals anzubringen.

15 Beispielsweise für die Herstellung von Wasserstoff durch Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen kommen als Katalysator insbesondere die Metalle der Gruppe VIII des Periodensystems und deren Legierungen untereinander in Frage. Besonders bevorzugt sind die Metalle Nickel und Platin sowie deren Legierungen.

20 Durch den Einbau von Mikroventilen in die Reaktionskanäle oder zumindest einen Teil der Reaktionskanäle ergibt sich die Möglichkeit, den Durchfluß des Prozeßmediums, das vorzugsweise aus Gasen und/oder Dämpfen besteht, zu steuern und zu regeln. Über eine Beeinflussung der Medienströmung ergibt sich somit ein Weg, die Reaktion und dadurch indirekt auch die Temperatur im Reaktor zu steuern. Diese läßt sich 25 selbstverständlich auch durch eine entsprechende Regelung des elektrischen Stroms zur Widerstandserwärmung der Katalysatorschicht und/oder einer elektrisch leitenden Zwischenschicht beeinflussen.

30 Für die Wirksamkeit des erfindungsgemäßen Reaktors ist ein weiterer Aspekt von Bedeutung, der ebenfalls auf eine Beeinflussung der Strömung des Prozeßmediums abzielt. Durch die Erzeugung von Mikrostrukturen auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle läßt sich nämlich im durchströmenden Medium eine turbulente Strömung gewährleisten. Die hierdurch bewirkte ständige Durchmischung des Prozeßmediums hat zur Folge, daß die angestrebte chemische Reaktion weitestgehend vollständig abläuft, so daß ein sehr hoher Umwandlungsgrad für die als Prozeßmedium eingesetzten Stoffe erreichbar ist.

Zweckmäßigerweise werden die Reaktionskanäle des Mikrostruktur-Reaktors jeweils parallel zueinander in kleinen Platten eines Siliziumsubstrats in bekannter Weise durch Ätzen eingearbeitet. Es empfiehlt sich dabei, die im unmontierten Zustand nach oben offenen Reaktionskanäle sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite einer solchen Platte aus Silizium anzubringen. Um bei einer geringen Plattendicke eine möglichst dichte Packung der Reaktionskanäle zu ermöglichen, sollten die Reaktionskanäle jeweils alternierend so angeordnet werden, daß die unmittelbar benachbarten Reaktionskanäle eines Reaktionskanals jeweils mit ihrer offenen Seite jeweils zur anderen Seite des Siliziumsubstrats weisen. Ein Mikrostruktur-Reaktor läßt sich dann ohne weiteres aus einer Vielzahl übereinander gestapelter Platten erzeugen, die in dieser Weise bearbeitet sind, wobei die nach oben bzw. unten offenen Reaktionskanäle jeweils durch den "Boden" der darüberliegenden Platte bzw. die "Deckfläche" der darunterliegenden Platte in Längsrichtung geschlossen werden und damit jeweils nur an den Stirnseiten eine Eintritts- bzw. Austrittsöffnung für das Prozeßmedium bzw. die Reaktionsprodukte aufweisen.

Für das Aufbringen einer Zwischenschicht und der Schicht des Katalysators lassen sich grundsätzlich die üblichen Verfahren der Katalysatorherstellung einsetzen. Eine elektrisch leitende Zwischenschicht kann durch Aufdampfen von Metallen und/oder durch galvanische Verfahren aufgetragen werden. Soll die Zwischenschicht aus Aluminiumoxid bestehen, wird zweckmäßig das PVD-Verfahren angewandt. Soll die Zwischenschicht aus Metall bestehen, wird vorzugsweise galvanisch beschichtet.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen schematischen Längsschnitt durch den Reaktionskanal eines erfindungsgemäßen Reaktors und

Fig. 2 eine schematische Ansicht eines plattenförmigen Siliziumsubstrats mit wechselseitig eingearbeiteten Reaktionskanälen.

Der in Fig. 1 dargestellte schematische Längsschnitt durch den Strömungskanal 2 eines erfindungsgemäßen Mikrostruktur-Reaktors läßt die verschiedenen Schichten der Reaktorwand erkennen. Als erstes ist die Schicht eines Siliziumsubstrats 3 zu

nennen, auf die der Katalysator 1 aufgebracht ist. Der Katalysator 1 haftet jedoch nicht unmittelbar auf der Innenoberfläche des Siliziumsubstrats 3, sondern auf einem Trägermaterial 4, das beispielsweise aus Al_2O_3 gebildet ist und somit einen elektrischen Isolator darstellt. Der Katalysator 1 ist in gleichmäßiger Schichtdicke über die Innenoberfläche des Reaktionskanals 2 verteilt. Zur Einleitung eines elektrischen Stroms für die Beheizung des endothermen Reaktors sind elektrische Kontakte 5 vorgesehen, die unmittelbar mit der Schicht des Katalysators 1 verbunden sind. Im Falle einer Verwendung eines elektrisch leitfähigen Materials für das Trägermaterial 4 des Katalysators 1 könnten die elektrischen Kontakte 5 auch unmittelbar mit dem Trägermaterial 4 verbunden werden. Wenn die Schicht des Katalysators 1 und/oder die Schicht eines elektrisch leitenden Trägermaterials 4 über die Stirnseiten des Reaktionskanals 2 nach außen geführt sind, können die Kontakte 5 außerhalb des Durchtrittsquerschnitts des Reaktionskanals 2 angebracht werden und beeinträchtigen damit nicht die freie Durchtrittsfläche für das Prozeßmedium. Durch die Dicke der Schicht des Katalysators 1 und/oder einer elektrisch leitenden Zwischenschicht des Trägermaterials 4 für den Katalysator 1 ergibt sich eine Einflußgröße für die Einstellung der Temperatur auf der Innenoberfläche des erfindungsgemäßen Reaktors. Je dicker diese Schicht bzw. Schichten sind, um so geringer ist der elektrische Widerstand und damit bei gegebener elektrischer Spannung die sich einstellende Temperatur.

In Fig. 2 ist eine Vielzahl von parallel nebeneinander angeordneten Reaktionskanälen 2 dargestellt, die jeweils in eine Platte 6 eines Siliziumsubstrats mit den bekannten präzisen Fertigungsverfahren der Siliziumtechnologie erzeugt worden sind. Die Strömungskanäle 2, die jeweils an einer Längsseite eine offene Seite 7 aufweisen, sind parallel und alternierend in der Weise zueinander angeordnet, daß die offene Seite 7 eines Reaktionskanals 2 jeweils zu einer anderen Seite weist als die beiden unmittelbar benachbarten Reaktionskanäle 2. Auf diese Weise sind die Reaktionskanäle 2 sehr dicht aneinander gepackt. Wenn man eine Vielzahl derartiger Platten 6 übereinander stapelt und auf diese Weise einen erfindungsgemäßen Mikrostruktur-Reaktor erzeugt, dann werden die offenen Seiten 7 der Strömungskanäle 2 jeweils durch einen entsprechenden Boden der darüberliegenden bzw. darunterliegenden Platte 6 abgedeckt, so daß sich eine Vielzahl von in Längsrichtung allseitig geschlossenen Reaktionskanälen 2 ergibt. Lediglich die beiden Stirnseiten sind für den Eintritt des Prozeßmediums bzw. für den Austritt der Reaktionsprodukte offen. Ein solcher Plattenstapel kann beispielsweise in ein metallisches Gehäuse gepackt

Querschnittsabmessungen im Submillimeterbereich aufweisen,
dadurch gekennzeichnet,
daß der elektrisch nichtleitende Katalysator (1) auf einem in gleichmäßiger
Schichtdicke aufgebrachten elektrisch leitenden Trägermaterial (4) aufgebracht
ist, das als Zwischenschicht unmittelbar auf der Innenoberfläche der
Reaktionskanäle (2) haftet und unmittelbar selbst durch die
Widerstandserwärmung beheizbar ist.

5

10 4. Reaktor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Katalysator (1) auf einem Trägermaterial (4) aufgebracht ist, das als
Zwischenschicht unmittelbar auf der Innenoberfläche der Reaktionskanäle (2)
haftet.

15

20 5. Reaktor nach Anspruch 2 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Trägermaterial (4) ein elektrischer Isolator, insbesondere AL_2O_3
und/oder SiO_2 , ist.

25 6. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Schicht des Katalysators (1) und/oder die Schicht des elektrisch
leitenden Trägermaterials (4) aus den Reaktionskanälen (2) heraus nach außen
fortgeführt ist und daß die elektrischen Kontakte (5) zur Einleitung des
Heizstroms außerhalb der Reaktionskanäle (2) angebracht sind.

30

7 Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Katalysator (1) aus Platin und/oder Nickel besteht.

6 29-09-00

12

8. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß zur Steuerung der durch den Reaktor fließenden Medien zumindest ein Teil
der Reaktionskanäle (2) mit Mikroventilen versehen ist.

5

9. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Innenoberflächen der Reaktionskanäle (2) zur Erzeugung einer
turbulenten Strömung mit Mikrostrukturen versehen sind.

10

10. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Reaktionskanäle (2) parallel zueinander jeweils in eine Platte (6) des
Siliziumsubstrats (3) eingearbeitet sind, daß die unmittelbar benachbarten
Reaktionskanäle (2) jeweils alternierend zur Ober- oder Unterseite der Platte (6)
offen sind und daß der Reaktor aus einer Vielzahl übereinander gestapelter
Platten (6) des Siliziumsubstrats (3) besteht, wobei die Längsöffnungen (7) der
Reaktionskanäle (2) jeweils durch die darüberliegende oder darunterliegende
Platte (6) abgedeckt werden.

15

20

DE 299 23 630 U1

8 29-09-00

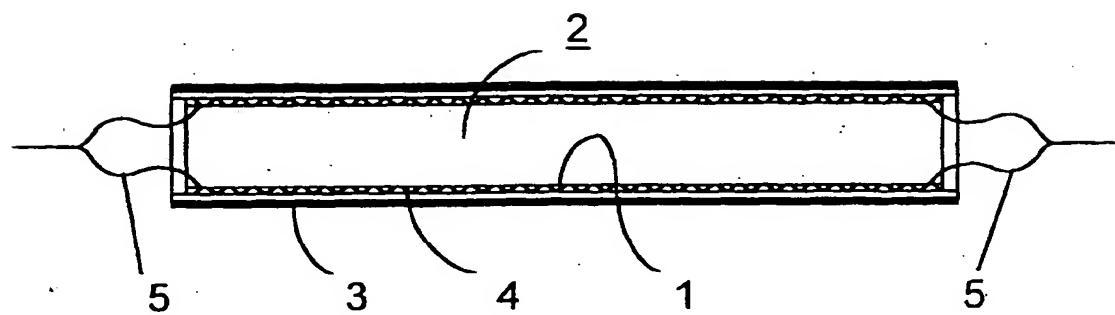


Fig. 1

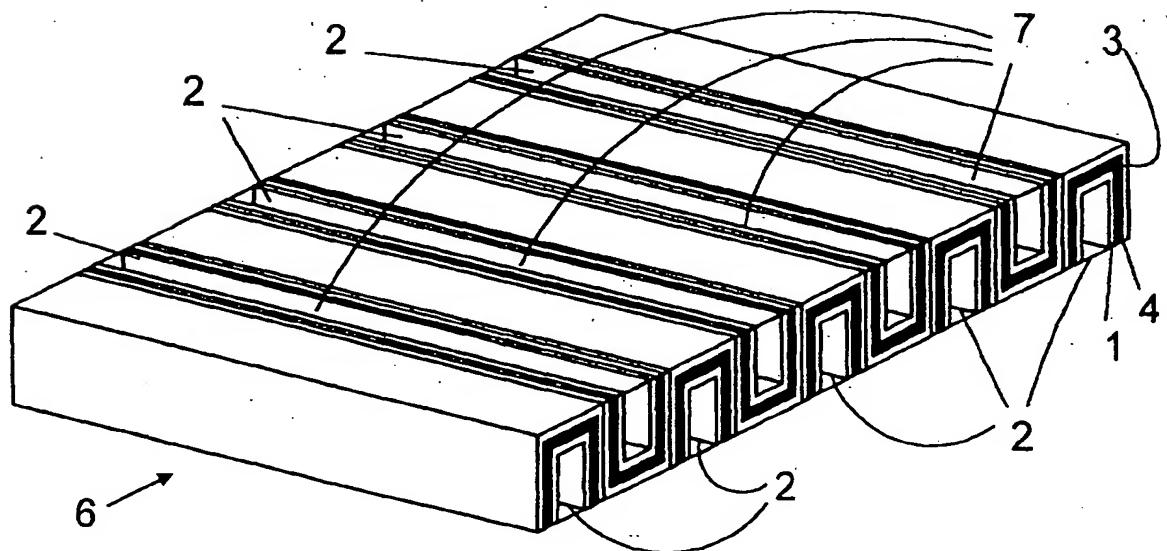


Fig. 2

DE 299 23 630 U1